

MICRO-LITHOGRAPHIC PROJECTION OPTICAL SYSTEM USING SIX REFLECTION MIRRORS

Best Available Copy

Publication number: JP2002107630

Publication date: 2002-04-10

Inventor: MANN HANS-JUERGEN; DINGER UDO;
MUEHLBEYER MICHAEL

Applicant: ZEISS STIFTUNG

Classification:

- international: G03F7/20; G03F7/20; (IPC1-7): G02B17/00; G02B5/10;
G02B13/14; G02B13/18; G02B13/22; G03F7/20;
H01L21/027

- european: G03F7/20T16

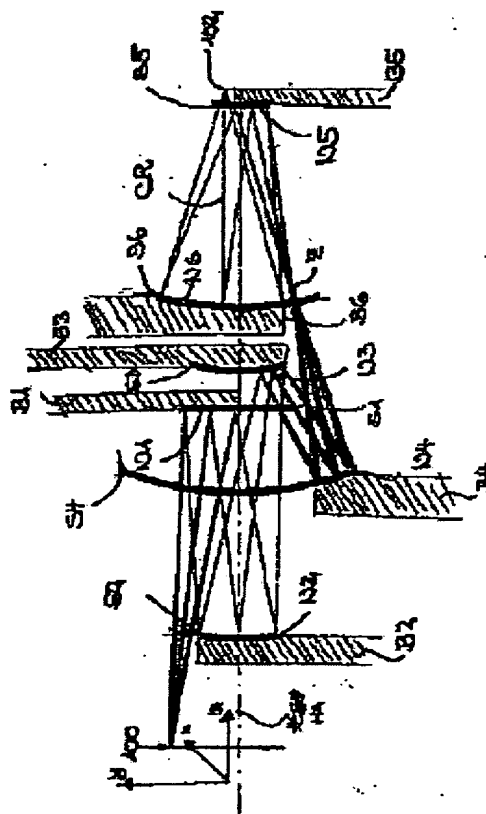
Application number: JP20010232558 20010731

Priority number(s): DE20001037870 20000801; EP20010116916 20010711

Report a data error here

Abstract of JP2002107630

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a micro-lithographic projection optical system which is small-sized, which is constituted so as to easily come close to every service area of reflection mirrors, and equipped with an aperture which is formed as large as possible, and also, equipped with a means for correcting aberration. **SOLUTION:** As for the micro-lithographic projection optical system for image-forming an object field in an image field, the 1st reflection mirror (S1), the 2nd reflection mirror (S2), the 3rd reflection mirror (S3), the 4th reflection mirror (S4), the 5th reflection mirror (S5) and the 6th reflection mirror (S6) are arranged with an optical axis as a center, and the reflection mirrors are individually provided with the service area on which light guided inside the projection optical system is made incident. And, the system is constituted so that a relation; the diameter of the service area $\leq 1200 \text{ mm} \times \text{NA}$ may be established between the diameter of the service area of each of 1st, 2nd, 3rd, 4th, 5th and 6th reflection mirrors and the numerical aperture of the exit pupil of the projection optical system.



2/3

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-107630

(P2002-107630A)

(43) 公開日 平成14年4月10日 (2002.4.10)

(51) Int. Cl.	識別記号	F I	テームト* (参考)
G 0 2 B 17/00		G 0 2 B 17/00	A 2 H 0 4 2
5/10		5/10	A 2 H 0 8 7
			C 2 H 0 9 7
13/14		13/14	5 F 0 4 6
13/18		13/18	

審査請求 未請求 請求項の数24 OL (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-232558 (P2001-232558)

(22) 出願日 平成13年7月31日 (2001.7.31)

(31) 優先権主張番号 1 0 0 3 7 8 7 0 . 6

(32) 優先日 平成12年8月1日 (2000.8.1)

(33) 優先権主張国 ドイツ (D E)

(31) 優先権主張番号 0 1 1 1 6 9 1 6 . 6

(32) 優先日 平成13年7月11日 (2001.7.11)

(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (E P)

(71) 出願人 300012273

カール ツァイス シュティフトゥング
トレイディング アズ カール ツァイス
ドイツ・(ブレンツ) ハイデンハイム・
89518

(72) 発明者 ハンス・ユルゲン・マン

ドイツ・73447・オーバーコッヒェン・カ
ツェンバッハシュトラッセ・49

(74) 代理人 100089037

弁理士 渡邊 隆 (外7名)

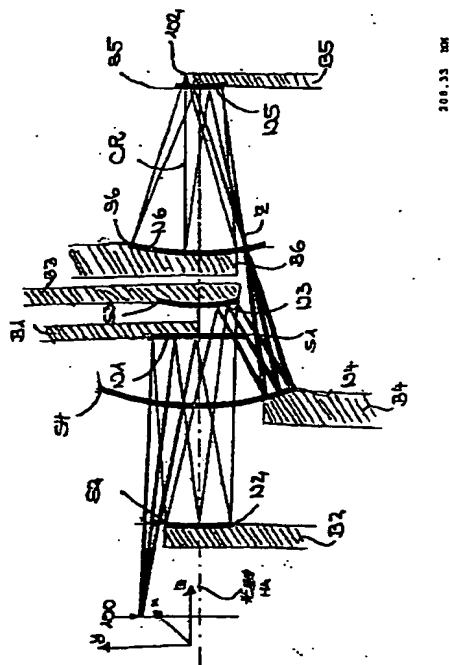
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 6枚の反射鏡を用いたマイクロソグラフィ用の投影光学系

(57) 【要約】

【課題】 小形に構成することができ、個々の反射鏡の使用領域へ近づき易く、できるだけ大きな開口、及び、収差を補正する手段とを備えるマイクロソグラフィ用の投影光学系を提供する。

【解決手段】 オブジェクトフィールドをイメージフィールドに結像させるマイクロソグラフィ用の投影光学系において、光軸を中心として第1の反射鏡 (S1)、第2の反射鏡 (S2)、第3の反射鏡 (S3)、第4の反射鏡 (S4)、第5の反射鏡 (S5)、及び第6の反射鏡 (S6) を配置し、これらの反射鏡のそれぞれに、投影光学系内を導かれる光線が入射する使用領域を設けた。そして、第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡の使用領域の直径と、射出瞳における当該投影光学系の開口数との間に、使用領域の直径 $\leq 1200 \text{ m}$ $\times \text{NA}$ の関係が成り立つように構成した。



FP04-0466-00W0
-N1
05.4.05
SEARCH REPORT

【特許請求の範囲】

【請求項1】 短波長、特に193nm以下の波長領域で用いられ、オブジェクトフィールドをイメージフィールドに結像させるための入射瞳と射出瞳とを備えてなるマイクロリソグラフィ用の投影光学系であって、前記イメージフィールドは、リングフィールドのセグメントをなし、当該セグメントは、対称軸と、この対称軸に垂直な方向への広がりとを有して、その広がり

は少なくとも20mm、望ましくは25mmとされており、光軸を中心として配置された第1の反射鏡(S1)、第2の反射鏡(S2)、第3の反射鏡(S3)、第4の反射鏡(S4)、第5の反射鏡(S5)、及び第6の反射鏡(S6)を備え、

これらの反射鏡のそれぞれは、当該投影光学系内を導かれる光線が入射する使用領域を有しているマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡の前記使用領域の直径と、射出瞳における当該投影光学系の開口数とは、使用領域の直径 $\leq 1200\text{mm} \times \text{NA}$ の関係を満たしていることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項2】 請求項1に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

前記射出瞳における開口数は0.1より大きく、好ましくは0.2より大きく、さらに好ましくは0.23より大きな値とされるとともに、

前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡の前記使用領域の直径は、300mm以下とされていることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項3】 請求項1または2に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡は、それぞれ背後方向に組立空間を有し、前記組立空間は、前記反射鏡前面から光軸に平行に測って、前記使用領域において所定の奥行きを有し、

前記第1、第2、第3、第4、及び第6の反射鏡の前記組立空間の前記奥行きは、少なくとも50mmとされ、前記第5の反射鏡の前記組立空間の前記奥行きは、前記第5の反射鏡の直径の値の1/3よりも大きいものとされ、かつ、それぞれの前記組立空間は、互いに干渉し合わないよう構成されていることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項4】 請求項1から3のいずれか1項に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、全ての前記組立空間は、光学系内の光路や他の前記反射鏡の前記組立空間を遮断することなく前記対称軸に対して平行な方向に延在可能とされていることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項5】 請求項4に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡は、前記使用領域の外側に周縁領域を有するとともに、前記周縁領域は、4mmより大きく設けられ、光が光学系内を遮蔽されることなく導かれるように構成されていることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項6】 請求項1から4のいずれか1項に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

前記第4の反射鏡の前記使用領域は、幾何学的に、前記第2の反射鏡と結像面の間に配置されていることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項7】 請求項1から6のいずれか1項に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

前記第4の反射鏡は、幾何学的に、前記第2の反射鏡と前記第3の反射鏡の間に配置されていることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項8】 請求項1から6のいずれか1項に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

前記第4の反射鏡は、幾何学的に、前記第1の反射鏡と前記第2の反射鏡の間に配置されていることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項9】 請求項1から6のいずれか1項に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

光軸に沿って前記第4の反射鏡と前記第1の反射鏡の頂点間の距離(S4 S1)は、前記第2の反射鏡と前記第1の反射鏡の間の距離(S2 S1)に対して、

【数1】

$$0.1 < \frac{(S4 \ S1)}{(S2 \ S1)} < 0.9$$

を満たす範囲に存在していることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項10】 請求項1から8のいずれか1項に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

光軸に沿って前記第3の反射鏡と前記第2の反射鏡の頂点間の距離(S2 S3)は、前記第4の反射鏡と前記第3の反射鏡の間の距離(S4 S3)に対して、

【数2】

$$0.3 < \frac{(S3 \ S4)}{(S2 \ S3)} < 0.9$$

を満たす範囲に存在していることを特徴とするマイクロリソグラフィ用の投影光学系。

【請求項11】 請求項1から8のいずれか1項に記載のマイクロリソグラフィ用の投影光学系において、

射出瞳における開口数NAと、光軸に沿って第5の反射鏡と第6の反射鏡の頂点間の距離(S5 S6)と、第5の反射鏡の頂点と結像面の間の距離(S5 B)と、第5、及び第6の反射鏡の曲率半径 r_5 、 r_6 とに対して、平均したリングフィールドの半径は、

【数3】

$$R \geq \tan (\arcsin (NA))^{\dagger}$$

$$\left[(S5 \ B) + (S5 \ S6) - \frac{1}{\frac{2}{r6} - \frac{1}{r5 + (S5 \ S6)}} \right]$$

の関係を満たしていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項12】 請求項1から11のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、オブジェクトフィールドの中心の対称軸上に位置する視野絞りの主光線は、全ての反射鏡への入射角が18°未満とされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項13】 請求項1から12のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記投影光学系内、かつ、光の進行方向に向かって前記第4の反射鏡(S4)の後方で中間像が結像されることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項14】 請求項1から13のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、光路もしくは光跡上の絞り(B)が前記第2の反射鏡(S2)に設けられていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項15】 請求項1から14のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記第1の反射鏡は、凸曲面状に形成されるとともに、前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡は、非球面状に形成されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項16】 請求項1から14のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記第1の反射鏡は、平行平面状に形成されるとともに、前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡は、非球面状に形成されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項17】 請求項1から14のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記第1の反射鏡は、凹曲面状に形成されるとともに、前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡は、非球面状に形成されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項18】 請求項1から17のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、全ての前記反射鏡は、非球面状に形成されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項19】 請求項1から17のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、最大で五つの前記反射鏡が非球面状に形成されているこ

とを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項20】 請求項19に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、

前記第4の反射鏡は、球面状に形成されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項21】 請求項1から20のいずれかに記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記第2の反射鏡から前記第6の反射鏡(S2, S3, S4, S5, S6)まで、それぞれの前記反射鏡が順次、凹曲面状、凸曲面状、凹曲面状、凸曲面状、凹曲面状に形成されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項22】 請求項1から21のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系を備え、前記投影光学系は、像側でテレセントリックとされていることを特徴とするマイクロソグラフィ投影光学装置。

【請求項23】 リングフィールドの照明のための照明装置、及び請求項1から22のいずれか1項に記載の投影光学系を有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項24】 請求項23に記載の投影露光装置を用いてチップを製造するチップの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、請求項1の上位概念に係るマイクロソグラフィ用の投影光学系、及び請求項23に係る投影露光装置、及び請求項24に係るチップの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】193nmより短い波長を用いたリソグラフィ、とりわけ、使用する波長λが、λ=11nm、ないしはλ=13nmとされた極短紫外線(EUV)リソグラフィ(以後、EUV-リソグラフィ、もしくはEUV-マイクロソグラフィ、あるいは単にマイクロソグラフィと称する)が、130nm未満、とくに100nm未満の構造を結像するための有望な手法として論じられるようになってきている。リソグラフィ用の光学系の解像度(RES)は、下記の式で記述される：

【数4】

$$RES = k_1 \cdot \frac{\lambda}{NA}$$

ここで、k₁はリソグラフィ工程における固有の係数であり、λは入射する光の波長、NAは光学系の像側の開口数を表すものである。

【0003】極短紫外線領域における結像光学系には、光学素子として、主に、多層膜を用いた反射型光学系が用いられる。多層膜系としては、波長 $\lambda=11\text{ nm}$ では特にMo/Be系が、波長 $\lambda=13\text{ nm}$ ではMo/Si系が好適に用いられている。

【0004】開口数を0.2とする場合、13 nmの波長の光を用いて50 nmの構造を結像させるためには、 $k_1=0.77$ とする比較的簡易な工程が必要となる。 $k_1=0.64$ とすると、11 nmの波長の光で35 nmの構造を結像させることが可能となる。

【0005】使用される多層膜の反射率は、およそ70%程度の値であるため、EUV-投影光学系内の光学素子をできるだけ少なくすることが、EUV-マイクロリソグラフィに用いられる投影光学系において十分な光の強度を得るために極めて重要である。

【0006】光の強度を大きくし、収差を十分補正できるようにすることを考慮すると、 $NA=0.20$ の際には、6枚の反射鏡を用いた光学系（以後、6枚反射鏡光学系あるいは6枚反射鏡投影光学系と称することもある。）がことに望ましいものであることが判明した。

【0007】米国特許第5 153 898号明細書、欧州特許第0 252 734号公開公報、欧州特許第0 947 882号公開公報、米国特許第5 686 728号明細書、欧州特許第0 779 528号公開公報、米国特許第5 815 310号明細書、国際公開第99/57606号パンフレット、及び米国特許第6 033 079号明細書より、マイクロリソグラフィのための6枚反射鏡光学系が知られている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】米国特許第5 686 728号明細書には、投影リソグラフィ光学系として、6枚の反射鏡を備えた投影光学系が記載されている。この投影光学系に用いられる反射鏡のそれぞれの表面は、非球面状に形成されている。そして、これらの反射鏡は、共通の光軸に沿って配置され、遮蔽が生じないような光路が実現されるように構成されている。

【0009】ところで、米国特許第5 686 728号明細書に開示された投影光学系は、100~300 nmの波長を有する紫外線のためだけに用いられるものであり、このため、この投影光学系の反射鏡は、およそ+/-50 μm もの大きな非球面度、及び約38°もの非常に大きな入射角を有している。開口数を $NA=0.2$ に絞ってもなお、入射角が低下することなく、頂点から頂点まで25 μm の非球面度が残る。このような非球面度や入射角は、極短紫外線領域においては、反射鏡に高度な表面性状及び反射特性が求められるため実用的ではない。

【0010】波長 $\lambda<100\text{ nm}$ の領域、とりわけ11 nm及び13 nmの波長で米国特許第5 686 728号明細書に開示された光学系を使用できなくしているさらなる短所は、ウェハと、ウェハに隣接する反射鏡との間の極めて短い距離である。米国特許第5 686 728号明細書に

開示されているように、ウェハと、ウェハに隣接する反射鏡との間の距離を設けると、反射鏡は非常に薄く形成されざるを得ない。このように薄い反射鏡は、前記の11 nm及び13 nmの波長に対応する多層膜構造の内部に生じる極めて強い膜張力のために、非常に不安定なものになってしまう。

【0011】また、欧州特許第0 779 528号公開公報により、EUV-リソグラフィ、とりわけ、11 nm及び13 nmの波長にも使用される6枚の反射鏡を備えた投影光学系が公知とされている。

【0012】ここに記載された投影光学系もまた、全部で6枚になる反射鏡のうち、少なくとも2枚の反射鏡の非球面度が26 μm もしくは18.5 μm になるという欠点を有している。とくに、欧州特許第0 779 528号公開公報に記載された構成では、ウェハと、ウェハに隣接する反射鏡との間の光学的な自由作動距離が小さく、この結果、不安定になるか、または、負の値を有するような機械的な自由作動距離をもたらしてしまう。

【0013】また、国際公開第99/57606号パンフレットには、6枚の反射鏡が凹面鏡、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡、凸面鏡、凹面鏡の順になるように配置された、EUV-リソグラフィのための6枚反射鏡投影光学系が記載されている。そして、光学系の物体側の開口数は、 $NA_{\text{Objekt}}=0.2$ とされている。この国際公開第99/57606号パンフレットに開示されている光学系の全ての反射鏡は、非球面状に形成されている。

【0014】この国際公開第99/57606号パンフレットに開示されている6枚反射鏡光学系の短所は、とくに第2及び第3の反射鏡において、例えばフレームに固定するため等の理由で、使用領域に容易にアクセスできないようになっていることである。加えて、国際公開第99/57606号パンフレットに示される光学系では、第4の反射鏡の使用領域が光軸のかなり外側に配置されている。このため、反射光学系の安定性に関する問題や、反射鏡のセグメントを製造する際の問題を招来している。また、光学系を容器内に収納するために、容積の大きな空間も必要になる。光学系は、真空中に置かれるので、結局、比較的大きな空間を真空引きしなければならないことになる。さらに、国際公開第99/57606号パンフレットに記載されているように、第2の反射鏡と第3の反射鏡の間に配置される複数の絞りは、第3の反射鏡への入射角を大きくするという結果をもたらし、とくに、これらの入射角が18°以上にもなる。

【0015】また、米国特許第6 033 079号明細書には、全ての反射鏡への入射角が18°よりも小さくなる6枚反射鏡光学系について記載されている。ただし、この光学系も短所を有しており、第3の反射鏡の使用領域に近づき難くなっていること、そして、例えば第4の反射鏡(M4)といった個々の反射鏡の使用領域が非常に大きく、国際公開第99/57606号パンフレットに示されて

10

20

30

40

50

いる光学系の場合と同じように、容積の大きな空間が必要であり、比較的大きな空間を真空引きしなければならぬ等の問題がある。さらに、比較的大きな反射鏡の欠点は、安定性に欠けるということであり、また、反射鏡の寸法に応じて、いくつもの大きな多層膜形成用のチャンバや、これらを作成するためのいくつもの製造装置が必要になってくるという事実である。

【0016】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであって、短波長、特に100nmより短い波長を用いるリソグラフィに適し、先に述べた先行技術の欠点を有さないマイクロリソグラフィ用の投影光学系を提供することにある。とりわけ、できるだけ小形にすることによって、個々の反射鏡の使用領域に近づき易く、また、できるだけ大きな開口を有し、現れる収差を補正する可能性ができるだけ大きいマイクロリソグラフィ用の投影光学系を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】この課題は、短波長、特に193nm以下の波長領域で用いられる本発明によるマイクロリソグラフィ用の投影光学系によって解決される。すなわち、本発明によるマイクロリソグラフィ用の投影光学系は、オブジェクトフィールドをイメージフィールドに結像させるための入射瞳と射出瞳とを備え、前記イメージフィールドは、リングフィールドのセグメントをなし、当該セグメントは、対称軸と、この対称軸に垂直な方向への広がりとを有していて、その広がりとは少なくとも20mm、望ましくは25mmとされており、また、光軸を中心として配置された第1の反射鏡、第2の反射鏡、第3の反射鏡、第4の反射鏡、第5の反射鏡、及び第6の反射鏡を備えとともに、これらの反射鏡のそれぞれは、前記投影光学系内を導かれる光線が入射する使用領域を有し、前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡の前記使用領域の直径と、射出瞳における当該投影光学系の開口数とは、使用領域の直径 $\leq 1200\text{mm} \times \text{NA}$ の関係を満たしており、前記直径は、望ましくは、300mm以下とされ、本発明による光学系の前記射出瞳における開口数は0.1より大きく、望ましくは0.2より大きく、さらに好ましくは0.23より大きな値とされている。なお、この明細書中、射出瞳における開口数とは、いわゆる像側の開口数であって、結像面に入射する光束についての開口数を意味するものとする。

【0018】マイクロリソグラフィにおいては、結像される光束を結像面にテレセントリックに入射させることが有用である。そして、投影光学系の第6の反射鏡S6が凹面状に形成されていることが好ましい。第5の反射鏡は、第6の反射鏡と結像面の間に配置される。

【0019】この種の光学系によって、いわゆる遮蔽のない光路を実現しようとすると、射出瞳における開口数NAが関係してくる。

【0020】望ましい実施形態においては、光学系内での遮蔽のない光路は、射出瞳における開口数を増加させることによって、結像されるリングフィールドの平均半径も増大することで実現される。

【0021】本発明のさらなる一発展態様において、とくに、反射鏡にフレームを設けるため、光学系の個々の反射鏡に容易に近づくことが保証される。すなわち、前記第1、第2、第3、第4、第5、及び第6の反射鏡は、それぞれ背後方向に組立空間を有し、前記組立空間は、反射鏡前面から光軸に平行に測って、使用領域において所定の奥行きを有していることによって保証される。ここで、前記第1、第2、第3、第4、及び第6の反射鏡の組立空間の奥行きは、少なくとも50mmとされ、前記第5の反射鏡の組立空間の奥行きは、前記第5の反射鏡の直径の値の1/3よりも大きいものとされ、かつ、それぞれの組立空間は、互いに干渉し合わないように構成されている。

【0022】近づき易くするという観点においてとりわけ好ましいのは、全ての組立空間が、光学系内の光路や他の反射鏡の組立空間を遮断することなく上記対称軸に対して平行な方向に延在可能とされている場合である。

【0023】膜張力によって引き起こされる反射鏡周縁部の変形を考慮すると、とりわけ安定な光学系は、光学系内で光が遮蔽されないようにしながら、全ての反射鏡の使用領域の外側に、周縁領域を4mmより大きく設けることによって達成される。

【0024】上述したMo/Be、又はMo/Siによる多層膜構造を有する反射鏡の基層を形成する際には、しばしば張力が生じて、とりわけ基層の周縁で変形を来す可能性がある。十分に大きな周縁領域を設けることによって、変形が反射鏡の使用領域に及ぶことが回避される。

【0025】望ましい本発明の一態様において、第4の反射鏡の使用領域は、幾何学的に、第2の反射鏡と結像面の間に位置している。

【0026】とくに、第4の反射鏡は、幾何学的に、第3の反射鏡と第2の反射鏡の間、とりわけ、第1の反射鏡と第2の反射鏡の間に配置されていることが好ましい。この配置により、前記第1、第2、第3、及び第4の反射鏡の使用領域の寸法がとくに小さくなる。

【0027】光軸に沿った反射鏡の頂点間の距離において、第4の反射鏡と第1の反射鏡の間の距離(S4 S1)は、第2の反射鏡と第1の反射鏡の間の距離(S2 S1)に対して、

【数5】

$$0.1 < \frac{(S4 S1)}{(S2 S1)} < 0.9$$

を満たす範囲に存在し、また、第3の反射鏡と第2の反射鏡の間の距離(S2 S3)は、第4の反射鏡から第3の反射鏡までの距離(S4 S3)に対して、

【数6】

$$0.3 < \frac{(S3 \ S4)}{(S2 \ S3)} < 0.9$$

を満たす範囲に存在していることが好ましい。

【0028】遮蔽の起こらない光路を実現する上で、とくに、第5の反射鏡、及び第6の反射鏡を有する光学系の部分に、クリティカルな領域が二つ存在している。

【0029】一つの領域は、第5の反射鏡の上側の周縁部に存在している。この部分で光は、下方の周辺光線がこの第5の反射鏡の使用領域の上方を通り過ぎて結像面に到達するように導かれなければならない。もう一つの

$$R \geq \tan(\arcsin(NA))^*$$

$$\left[(S5 \ B) + (S5 \ S6) - \frac{1}{\frac{2}{r_6} - \frac{1}{r_5 + (S5 \ S6)}} \right]$$

の関係を満たすように選ぶと、光が遮蔽されずに通過する。光の遮蔽が起こらない条件を維持しながら、リングフィールド半径をこの最低半径を下回る値にすると、反射鏡の基本形状である球面からの非球面形状によるずれ、すなわち、非球面度とも称されるずれが急激に大きくなる。これは、とくに第5の反射鏡にあてはまる。これにより、近軸近似、ならびに先に述べた関係式が有効であるような上記領域が意味を失ってしまう。非球面度の大きな反射鏡は、製造技術上、非常に手間をかけなければ製作できない。

【0031】反射鏡への角度の負担を低く抑えるために、オブジェクトフィールドの中央の対称軸上に位置している視野絞りの主光線が全ての反射鏡に対して18°未満の入射角を有するように構成することが望ましい。

【0032】本発明の一態様において、投影光学系は、中間像を有するように構成されている。この中間像は、好ましくは、投影光学系内において、光の進行方向に向かって、第4の反射鏡の後方に形成される。

【0033】本発明の第1の実施形態において、第1の反射鏡は、凸面状に形成され、かつ、全ての6枚の反射鏡は、非球面状に形成されている。

【0034】本発明の他の実施形態において、第1の反射鏡は、凹面状に形成され、かつ、全ての6枚の反射鏡は、非球面状に形成されている。

【0035】これ以外にも、第1の反射鏡は、平行平板として形成され、かつ、全ての6枚の反射鏡は、非球面状に形成されていてもよい。

【0036】全ての反射鏡が非球面状に形成されるような本発明の一実施形態と異なり、多くとも5枚の反射鏡を非球面とすると、製造がとりわけ容易となる。

【0037】とくに、光軸から最も離れた位置に使用領域を有するような反射鏡、これはたいいていの場合、第4の反射鏡であるが、この反射鏡を球面状に形成すること

領域は、第6の反射鏡の下側の周縁部に存在している。

【0030】第5の反射鏡と第6の反射鏡の上述した領域において、近軸近似により、射出瞳における開口数NAと、第5の反射鏡の頂点と第6の反射鏡の頂点の間の距離(S5 S6)と、第5の反射鏡と結像面の間の距離(S5 B)と、第5、又は第6の反射鏡の曲率半径r5、r6とに対して、平均したリングフィールドの半径(この明細書中、単にリングフィールド半径と称する場合もある)を

【数7】

が好ましい。

【0038】投影光学系の他に、本発明は、投影露光装置も提供する。投影露光装置は、リングフィールドを照明するための照明装置、及び本発明の投影光学系を有している。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、いくつかの実施形態に基づき、本発明について詳述する。

【0040】図1に、この明細書の中で使用領域、及び使用領域の直径と称するものを示す。図1には、一例として、腎臓の形をしたフィールドが、投影光学系の反射鏡上に照明されたフィールド1として示されている。本発明に係る光学系(投影光学系)をマイクロリソグラフィ用の投影露光装置に用いる場合、使用領域としてこの形の形状が予想される。包絡円2は、この腎臓の形を完全に取り囲み、2点6、8において、腎臓の形をした境界線10と重なり合っている。包絡円は、常に使用領域を取り囲む最小の円である。この包絡円2の直径Dが使用領域の直径Dとなる。

【0041】図2に、ある投影露光装置における投影光学系の物体面上でのオブジェクトフィールド11が示されている。斯かるオブジェクトフィールドが、本発明による投影光学系によって、例えばウェハ等の感光性のある物体が設置された結像面に結像される。結像面におけるイメージフィールドは、オブジェクトフィールドと同様の形状を有する。オブジェクトフィールド、換言すればイメージフィールド11の双方は、リングフィールドの一部のセグメントをなしている。このセグメントは、一つの対称軸12を有している。

【0042】図2にはさらに、物体面に張られた軸としてx軸及びy軸が記されている。図2から分るように、リングフィールド11の対称軸12は、y軸方向に延びている。また、y軸は、リングフィールド・スキャナ

として設けられたEUVー投影露光装置のリングフィールドの走査方向にも一致させられている。x軸の方向は、物体面内で走査方向に直交する方向に向いている。リングフィールドは、いわゆる平均リングフィールド半径Rを有している。この平均リングフィールド半径Rは、投影光学系の光軸HAからイメージフィールドの中心15までの距離によって定義されている。

【0043】図3に、光学系全体に対して本発明による投影光学系の二つの反射鏡のセグメント20、22を、一例として示す。ここで、反射鏡のセグメント20、22は、反射鏡の使用領域に対応する。そして、反射鏡のセグメントは、光軸24に沿って配置されている。図3からさらに分かるように、投影光学系の反射鏡の使用領域20、22のそれぞれに、組立空間26、28が割り当てられている。組立空間の奥行きTは、この明細書中、それぞれの反射鏡の使用領域20、22の中心30、32における光軸に対して平行な方向への組立空間の広がりのことである。使用領域の中心は、この明細書中、オブジェクトフィールドの中心にある視野絞りの主光線CRが、それぞれの反射鏡の使用領域に入射する点のことである。図3に示すように、投影光学系における反射鏡は、組立空間26、28が幾何学的に互いに干渉しないように配置されている。

【0044】図4に、本発明による6枚の反射鏡を用いた光学系（投影光学系）（以後、6枚反射鏡光学系と称する場合もある）の第一の実施形態を示す。結像すべきオブジェクト（物体）は、リングフィールドのセグメントの形状を呈するとともに、図2に示されるような対称軸を有しており、その大きさは、対称軸に直交する方向に、少なくとも20mm、望ましくは25mmとされている。結像すべきオブジェクトは、図4に示される光学系の物体面100に位置している。この物体面100に、本実施形態におけるオブジェクトフィールドとして、リングフィールドのセグメントが形成される。さらに、リソグラフィにおいてレチクルと称されるオブジェクトが、感光性のシートに結像すべきものとして物体面に設置される。

【0045】結像面102は、本発明による投影光学系によってオブジェクト100が結像される平面である。この結像面102に、例えばウェハ等が設置可能とされている。本発明による投影光学系は、第1の反射鏡S1、第2の反射鏡S2、第3の反射鏡S3、第4の反射鏡S4、第5の反射鏡S5、及び第6の反射鏡S6を有している。図4に示される本実施形態においては、6枚全ての反射鏡S1、S2、S3、S4、S5及びS6は、非球面反射鏡として形成されている。また、第1の反射鏡S1は、凸面鏡である。

【0046】絞りBは、図4による本発明の第一の実施形態においては、第2の反射鏡S2に設けられている。光学系は、光軸HAを中心として配置され、像側、つま

り、結像面102においてテレセントリックとされている。像側にテレセントリックであるとは、すなわち、主光線CRが、90°に近い角度、もしくは、約90°の角度を以って結像面102に入射するということである。

【0047】光量の損失、及び、反射鏡の構造の内部で多層膜によって誘起される波面収差をできるだけ低く抑えるため、中心の視野絞りの主光線CRがそれぞれの反射鏡表面へ入射する角度は、18°より常に小さくなっている。また、図4には、それぞれの反射鏡S1、S2、S3、S4、S5及びS6の使用領域N1、N2、N3、N4、N5及びN6の組立空間B1、B2、B3、B4、B5及びB6が示されている。

【0048】図4から明らかに見て取れるように、光学系全体は、全ての組立空間B1、B2、B3、B4、B5及びB6が、平面100上にあるオブジェクトフィールドの対称軸12に対して平行な方向に延在可能に組み立てられ、また、光学系内の光路や他の反射鏡の組立空間を遮断することのないように構成されている。見やすいように、図4には、座標系x、y、zが記入されている。光学系の光軸はz軸方向に延び、オブジェクトフィールドはx-y物体面上にあり、オブジェクトフィールド100の対称軸はy軸方向を向いている。

【0049】図4から分かるように、全ての使用領域の組立空間は、オブジェクトフィールドの対称軸12の方向に延在可能とされている。これにより、反射鏡が少なくとも光学系の一方の側から容易に近づけるようになること、しかも、例えば、フレームを設けたり、マウントすることが確実にできる。

【0050】さらに、図4に示される第一の実施形態の場合、光学系が中間像Zを有する。中間像Zは、幾何学的には、第1の反射鏡S1の後方、かつ、第4の反射鏡S4と第5の反射鏡S5の間に形成されている。この中間像Zによって、図4に示される光学系は、反射鏡S1、S2、S3及びS4を備える第1の部分光学系、及び、反射鏡S5、S6を備える第2の部分光学系の二つの部分光学系に分けられる。

【0051】反射鏡S1からS4、及びS6の組立空間B1からB4、及びB6は、少なくとも50mmの奥行きとされる一方、反射鏡S5の組立空間B5は、第5の反射鏡の使用領域の直径の少なくとも3分の1とされ、ウェハに隣接する第5の反射鏡S5と結像面102の間に、少なくとも12mmの作動距離が確保されるようになっている。

【0052】図4に示される第一の実施形態の光学設計ソフトCode-V（Swanson Analysis System社）に関するデータが表1ないし表2に与えられている。ここで、素子番号1、2、3、4、5、6は、反射鏡S1、S2、S3、S4、S5及びS6を表している。

【表1】

素子番号	半径	厚さ	直径	ART
ワジエ 1	INF A(1)	743.3276 -557.1863 開口絞り 0.0000	210.8986 177.1640	REFL
2	A(2)	702.9968	177.3847	REFL
3	A(3)	-221.1310	191.0743	REFL
4	A(4)	787.9929	426.0706	REFL
5	A(5)	-436.7697	110.1796	REFL
6 イメジ	A(6) INF	480.7697	310.6813 70.5007	REFL

【表2】

10

非球面係数

$$Z = \frac{(CURV)Y^2}{1+(1-(1+K)(CURV)^2Y^2)^{1/2}} + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (C)Y^8 + (D)Y^{10} + (E)Y^{12} + (F)Y^{14} + (G)Y^{16} + (H)Y^{18} + (J)Y^{20}$$

非球面	CURV	K E	A F	B G	C H	D J
A(1)	0.00006144	0.000000 1.87256E-29	5.48969E-10 0.00000E+00	-4.47710E-15 0.00000E+00	6.93597E-20 0.00000E+00	-1.61832E-24 0.00000E+00
A(2)	0.00092955	0.000000 -7.88639E-30	-4.50667E-11 0.00000E+00	-3.63055E-16 0.00000E+00	-3.52050E-21 0.00000E+00	7.46570E-26 0.00000E+00
A(3)	0.00284106	0.000000 1.64447E-27	-3.98337E-10 0.00000E+00	2.92857E-15 0.00000E+00	8.46286E-19 0.00000E+00	-5.98614E-23 0.00000E+00
A(4)	0.00193867	0.000000 -1.71616E-31	-3.55491E-12 0.00000E+00	7.43877E-17 0.00000E+00	-5.36969E-22 0.00000E+00	2.36533E-26 0.00000E+00
A(5)	0.00179551	0.000000 -9.96256E-26	5.44569E-09 0.00000E+00	1.45719E-13 0.00000E+00	-5.07132E-18 0.00000E+00	1.33331E-21 0.00000E+00
A(6)	0.00186905	0.000000 4.44608E-32	6.69863E-11 0.00000E+00	3.06114E-16 0.00000E+00	1.29123E-21 0.00000E+00	2.82784E-27 0.00000E+00

ワジェス波長 = 13.4 NM
 イメジスケール = 0.25
 像側の開口 = 0.25

【0053】第一の実施形態による光学系の像側の開口数は、0.25である。

【0054】図5に、本発明の第二の実施形態を示す。30
 ここで、図4にそれぞれ対応する部材には同一の符号を付す。本実施形態においても、6枚全ての反射鏡の表面は非球面状とされている。ただし、図4に示される実施形態と異なり、第1の反射鏡S1は、凸面鏡ではなく凹

面鏡である。

【0055】この光学系のデータは、表3ないし表4にCode-Vの表として示されている。図5に示された投影光学系の開口数は、図4に示される第一の実施形態の場合と同様、NA=0.25である。

【表3】

素子番号	半径	厚さ	直径	ART
ワジエ 1	INF A(1)	763.1539 -508.8959 開口絞り 0.0000	217.5892 157.2988	REFL
2	A(2)	592.9977	157.6458	REFL
3	A(3)	-263.0251	186.9465	REFL
4	A(4)	857.5155	464.9979	REFL
5	A(5)	-437.1855	110.6968	REFL
6 イメジ	A(6) INF	481.2681	311.8894 70.8868	REFL

【表4】

非球面係数

$$Z = \frac{(CURV)Y^2}{1 + (1 - (1 + K)(CURV)^2Y^2)^{1/2}} + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (C)Y^8 + (D)Y^{10} + (E)Y^{12} + (F)Y^{14} + (G)Y^{16} + (H)Y^{18} + (J)Y^{20}$$

非球面	CURV	K E	A F	B G	C H	D J
A(1)	-0.00009342	0.000000	5.02048E-10	-3.59798E-15	4.65491E-20	-1.24487E-24
		3.09845E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(2)	0.00094495	0.000000	-8.64008E-11	-8.21885E-16	-7.41356E-21	-3.30260E-25
		0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(3)	0.00281349	0.000000	-8.95729E-10	1.08088E-14	-1.55198E-18	1.20451E-22
		-3.93860E-27	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(4)	0.00176899	0.000000	-6.05769E-10	-1.14820E-15	-3.64542E-20	2.50132E-25
		-1.67295E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(5)	0.00182078	0.000000	5.28849E-09	1.32507E-13	-2.78314E-18	7.00685E-22
		-8.77929E-26	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(6)	0.00186581	0.000000	6.68738E-11	3.06141E-16	1.34385E-21	1.39691E-27
		5.80814E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

ワルツ波長 = 13.4 NM
 イミスケール = 0.25
 像側の開口 = 0.25

【0056】図5に示される実施形態では、本発明により、光学系内に配置された全ての反射鏡の使用領域の直径Dは、300mmよりも小さいものとされている。なお、結像すべきオブジェクトは、図2に示されるように、リングフィールドのセグメントである。

【0057】図6(a)から図6(f)には、図5に示される第二の実施形態において、それぞれの反射鏡のx-y平面内における使用領域が示されている。全ての像には、物体面で定義されたものと同じx-y座標系が記されている。ここで、y軸方向は、リングフィールド・スキャナーの走査方向の方向を示し、また、x軸方向は、走査方向と直交する方向を示している。

【0058】図6(a)から分かるように、反射鏡S1上の使用領域N1は、大体において腎臓の形をなしており、図1に定義された如く直径Dを有し、その値は145.042mmとされている。反射鏡S2上の使用領域N2の直径は、略円形で、その直径は、図6(b)より157.168mmである。

【0059】反射鏡S3では、使用領域N3は再び腎臓の形を呈する。そして、その直径Dは、図6(c)より102.367mmとされている。また、反射鏡S4では、使用領域N4は、図6(d)より222.497mm

mの直径を有している。

【0060】図6(e)及び図6(f)より分るように、反射鏡S5及びS6上の使用領域N5及びN6は、略円形となり、使用領域N5の直径Dは83.548mm、使用領域N6の直径Dは270.054mmとなる。

【0061】こうして、本発明により、図5に示される投影光学系の実施形態における全ての使用領域N1からN6までの直径は、300mmよりも小さいものとされている。

【0062】図7に、6枚の非球面鏡を用いた、本発明による投影光学系の第三の実施形態を示す。ここで、図4及び図6にそれぞれ対応する部材には同一の符号を付す。図7に示される第三の実施形態のデータは、表5ないし表6にCode-Vの形式で与えられている。図7に示される光学系の開口数は、NA=0.25である。図7に示される実施形態の第1の反射鏡S1は、平行平板の形状とされている。反射鏡S1が平行平板であるとは、すなわち、この明細書中、光軸HA付近での反射鏡S1の基本となる曲率が0に一致するということである。

【表5】

要素番号	半径	厚さ	直径	ART
ワ'ジ'外 1	INF A(1)	767.2557 -555.7033 開口絞り 0.0000	216.0671 173.9832	REFL
2	A(2)	682.2766	174.2476	REFL
3	A(3)	-233.6859	188.2262	REFL
4	A(4)	794.6148	428.4357	REFL
5	A(5)	-436.8293	110.5239	REFL
6	A(6)	480.8400	310.5587	REFL
イ'ジ'	INF		70.4765	

【表6】

非球面係数

$$Z = \frac{(CURV)Y^2}{1+(1-(1+K)(CURV)^2Y^2)^{1/2}} + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (C)Y^8 + (D)Y^{10} + (E)Y^{12} + (F)Y^{14} + (G)Y^{16} + (H)Y^{18} + (J)Y^{20}$$

非球面	CURV	K E	A F	B G	C H	D J
A(1)	0.00000000	0.000000 2.03931E-29	5.67634E-10 0.00000E+00	-4.28505E-15 0.00000E+00	6.16577E-20 0.00000E+00	-1.42715E-24 0.00000E+00
A(2)	0.00092352	0.000000 -7.88639E-30	-4.50667E-11 0.00000E+00	-3.63055E-16 0.00000E+00	-3.52050E-21 0.00000E+00	7.46570E-26 0.00000E+00
A(3)	0.00277871	0.000000 1.08438E-27	-3.26329E-10 0.00000E+00	-7.02528E-16 0.00000E+00	5.33788E-19 0.00000E+00	-3.92007E-23 0.00000E+00
A(4)	0.00188296	0.000000 -6.94542E-31	-9.51406E-12 0.00000E+00	5.06179E-16 0.00000E+00	-9.93523E-21 0.00000E+00	1.33054E-25 0.00000E+00
A(5)	0.00185628	0.000000 -1.05073E-25	5.15785E-09 0.00000E+00	1.54832E-13 0.00000E+00	-5.20812E-18 0.00000E+00	1.16863E-21 0.00000E+00
A(6)	0.00186897	0.000000 6.23447E-32	6.62264E-11 0.00000E+00	2.99098E-16 0.00000E+00	1.29774E-21 0.00000E+00	1.07497E-27 0.00000E+00

ワルツ波長 = 13.4 NM
 イメージスケール = 0.25
 像側の開口 = 0.25

【0063】製造の見地からみてとりわけ好ましい6枚反射鏡光学系が図8に示されている。図8に示される光学系において、開口数は0.23とされ、また、第4の20反射鏡は球面鏡とされている。第4の反射鏡が球面鏡であるというのは、製造の観点からは非常に好ましい。というのも、球面状の表面は、非球面状の表面より容易に

仕上げることができ、しかも、第4の反射鏡は、光軸から最も離れた位置に使用領域を有する反射鏡であるからである。

【0064】図8に示される光学系のデータは、Code-Vの形式で表7ないし表8に与えられている。

【表7】

素子番号	半径	厚さ	直径	ART
オブジェクト	INF	739.9848		
1	A(1)	-659.9848 開口絞り 0.0000	188.6091 219.3872	REFL
2	A(2)	709.9848	219.1277	REFL
3	A(3)	-492.0904	179.7699	REFL
4	847.3874 CC	1094.5501	577.4446	REFL
5	A(4)	-412.2537	109.4460	REFL
6	A(5)	452.2537	273.6442	REFL
イメージ	INF		71.0012	

【表8】

非球面係数

$$Z = \frac{(CURV)Y^2}{1+(1-(1+K)(CURV)^2Y^2)^{1/2}} + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (C)Y^8 + (D)Y^{10} + (E)Y^{12} + (F)Y^{14} + (G)Y^{16} + (H)Y^{18} + (J)Y^{20}$$

非球面	CURV	K E	A F	B G	C H	D J
A(1)	0.00046523	0.000000 -3.23697E-28	-7.36323E-11 0.00000E+00	1.86189E-15 0.00000E+00	-7.73130E-20 0.00000E+00	8.54337E-24 0.00000E+00
A(2)	0.00092527	0.000000 0.00000E+00	-5.11521E-11 0.00000E+00	-3.80687E-16 0.00000E+00	-3.05582E-21 0.00000E+00	-7.83597E-27 0.00000E+00
A(3)	0.00241893	0.000301 7.76365E-28	5.01337E-10 0.00000E+00	2.76322E-15 0.00000E+00	1.65053E-19 0.00000E+00	-1.79843E-23 0.00000E+00
A(4)	0.00112101	0.000000 2.29050E-25	6.42053E-09 0.00000E+00	6.30201E-15 0.00000E+00	6.16162E-18 0.00000E+00	-2.15921E-21 0.00000E+00
A(5)	0.00192607	0.000000 0.00000E+00	1.40503E-10 0.00000E+00	8.32770E-16 0.00000E+00	3.64734E-21 0.00000E+00	5.66305E-26 0.00000E+00

ワルツ波長 = 13.4 NM
 イメージスケール = 0.25
 像側の開口 = 0.25

【0065】反射鏡、とりわけ第4の反射鏡の使用領域 50 の寸法を比較的小さくするためには、第4の反射鏡の位

置は、幾何学的には、投影光学系内の第3の反射鏡と第2の反射鏡の間、又は、第1の反射鏡と第2の反射鏡の間に設けなければならない。

【0066】第2の反射鏡と第1の反射鏡に対する第4の反射鏡の位置、又は、第2の反射鏡と第3の反射鏡に対する第4の反射鏡の位置についての詳細は、以下の条件によって記述される：

【数8】

$$0.1 < \frac{(S4 \ S1)}{(S2 \ S1)} < 0.9 \quad (1)$$

【数9】

条件(1)に関するデータ

実施形態	特徴	(S4S1)/(S2S1)
1=図4	M1凸面	0.14
2=図5	M1凹面	0.35
3=図7	M1平面	0.19
4=図8	NA=0.23, 5非球面	0.67

【0070】

20 【表10】

条件(2)に関するデータ

実施形態	特徴	(S3S4)/(S2S3)
1=図4	M1凸面	0.31
2=図5	M1凹面	0.44
3=図7	M1平面	0.34
4=図8	NA=0.23, 5非球面	0.69

【0071】使用領域の直径がとりわけ重要なパラメータとなるのは、この値が光学系の容器の寸法を決定するからである。使用領域が大きくなり、また、それに伴って反射鏡が大きくなると、非常に大きな空間が光学系の組立のために必要になる。これは、相当大きな超高真空系の真空引きが必要になることを考慮すれば、望ましいことではない。反射鏡が大きい場合に、さらに問題になる点は、機械的な振動に対して、反射鏡がより敏感に反応してしまうということである。というのも、大きな反射鏡の固有振動数は、小さな反射鏡の固有振動数よりも小さくなるからである。反射鏡が小さな寸法を有すると、さらなる利点として、より小さな超高真空チャンバを用いて、多層膜の基層を非球面形状に形成し、被覆することが可能になる。

【0072】幾重もの層からなる系を有した反射鏡の基層の形成によって膜張力が生じるので、特に基層の縁の部分に変形を来す可能性がある。この変形が反射鏡の使用領域に及ばないようにするために、使用領域の外側に最低限の遊びを設けて、この遊びの範囲内で変形が治まるようにすることが肝要である。この周縁領域について、第一から第四の実施形態における個々の反射鏡における値が表11に与えられている。

$$0.3 < \frac{(S3 \ S4)}{(S2 \ S3)} < 0.9 \quad (2)$$

【0067】とくに、条件(2)に対しては、

【数10】

$$0.4 < \frac{(S3 \ S4)}{(S2 \ S3)} < 0.9 \quad (2a)$$

であることが好ましい。

【0068】以下の表には、上記第一から第四の実施形態に関するこれらの条件が与えられている。

【0069】

【表9】

【0073】

【表11】

反射鏡S1からS6までの周縁領域に関するデータ

反射鏡	A1=図4	A2=図5	A3=図7	A4=図8
S1	13mm	21mm	16mm	2mm
S2	11mm	11mm	8mm	8mm
S3	22mm	28mm	26mm	8mm
S5	4mm	4mm	4mm	5mm
S6	5mm	6mm	5mm	2mm

【0074】この表より分かるように、周縁領域は、図4、図5、及び図7に示される実施形態で、いずれの反射鏡に対しても4mmより大きくなっている。これは、反射鏡をフレームで固定する場合に、膜張力を考慮すると非常に好ましい。

【0075】図9は、本発明による投影光学系の望ましい一実施形態において、第5及び第6の反射鏡S5、S6の配置を示す図である。

【0076】図9に示すように、結像する光束200は、例えばウェハ等が設置される結像面102にテレセントリックに入射する。第6の反射鏡S6は、凹面状に

形成されている。第5の反射鏡S5は、第6の反射鏡S6と結像面102の間に位置している。本発明による投影光学系では、全ての反射鏡S1, S2, S3, S4, S5, S6は、物体面100と結像面102の間に配置されている。本発明による投影光学系において、遮蔽のない光路を要求する場合、反射鏡S5及びS6を有する図9に示された像側の光学系の部分に、遮蔽されないように光を導く上でクリティカルな領域が二箇所存在している。

【0077】一つの領域は、第5の反射鏡S5の使用領域の上側の周縁部202に存在している。遮蔽されないように光を導くためには、光束200の下側の周辺光線204が、使用領域N5の上方を通り過ぎて結像面102に到達するように光学系を構成しなければならない。リングフィールド半径をRとし、S5と結像面102の間の距離を(S5 B)とすると、下側の周辺光線204の光軸HAからの距離は、関係式

$$y' = \left[\frac{1}{\frac{2}{r_6} - \frac{1}{(S5 B) + (S5 S6) + \frac{R}{\tan(\arcsin(NA))}}} - (S5 S6) \right]$$

$$\tan \left[\arcsin(NA) + 2 \arcsin \left(\frac{NA}{r_6} * \left\{ (S5 B) + (S5 S6) - r_6 + \frac{R}{\tan(\arcsin(NA))} \right\} \right) \right]$$

【0079】光線が第5の反射鏡S5で遮蔽されることがなく通過するためには、以下の条件が必要である：

【数13】

$$\Delta y = y - y' \geq 0$$

【0080】光線が遮蔽されるおそれのあるもう一つの領域は、S6の下側の周縁部に存在している。この位置で遮蔽が起こらないことを近軸近似で保証するため、光

$$R \geq \tan(\arcsin(NA))^*$$

$$\left[(S5 B) + (S5 S6) - \frac{1}{\frac{2}{r_6} - \frac{1}{r_5 + (S5 S6)}} \right]$$

【0081】 r_6 , r_5 , (S5 B) 及び (S5 S6) に関して、それぞれ

$r_6 = 535.215 \text{ mm}$; $r_5 = 594.215 \text{ mm}$;

(S5 B) = 44.083 mm; (S5 S6) = 437.186 mm

NA	0.15	0.20	0.25	0.30
R in[mm]	18.191	24.475	30.958	37.707

【0083】表12から分かるように、射出瞳で開口数NAが大きな値を有すると、リングフィールド半径も大きくなるという結果が得られる。

【数11】

$$y = R - (S5 B) * \tan(\arcsin(NA))$$

によって与えられる。ここで、NAは射出瞳における開口数である。

【0078】使用領域N5の上限は、光束200の上側の周辺光線206が第5の反射鏡S5に入射する位置によって決定される。以下の変数

r_6 : S6の曲率半径

(S5 S6): S5及びS6の間の(正に取った)距離

を用い、光線が反射した反射鏡の頂点から当該光線が光軸を横切る位置までの距離を求める式を第6の反射鏡に対して適用すると、第5の反射鏡の使用領域N%の上側の周縁部202の光軸HAから測った距離 y' は以下のように与えられる：

【数12】

線が反射した反射鏡の頂点から当該光線が光軸を横切る位置までの距離を求める式を第5の反射鏡と第6の反射鏡に対して二度適用することにより、結像面102上のイメージフィールドのリングフィールド半径Rに対して以下の式が求められる：

【数14】

の値に固定する場合、 y' と Δy に関する上記の式に従うように第5の反射鏡で光が遮蔽されないための境界条件を課し、開口に依存するリングフィールド半径Rに対する上述の式から、以下の表12の結果が得られる。

【0082】

【表12】

NA	0.15	0.20	0.25	0.30
R in[mm]	18.191	24.475	30.958	37.707

【0084】同軸の6枚の反射鏡を用いた光学系の場合、あらかじめリングフィールド半径の値が与えられると、ある決まった値までしか開口を大きくできない。こ

の値を超えると、第5の反射鏡において非球面度の急激ともいえる増加が見られ、非球面の形成や非球面の測定技術における問題に加え、光学系の補正を行う際の問題を招来することになる。

【0085】(S5 B)は、ウェハに臨む光学系のいわゆる作動領域と呼ばれるものと同じもので、最低限の

大きさを下回ってはならないものである。したがって、(S5 B)を小さくすることによって、リングフィールド半径を小さくすることは、単に(S5 B)が最低限の距離に達するまでの間に限って、可能であるにすぎない。

【0086】距離(S5 S6)を小さくすることは、確かにリングフィールド半径を小さくすることにはなる。しかしその一方で、第5の反射鏡S5への入射角が大きくなってしまう。このようにS5への入射角が大きいと、最適な反射特性を備えた多層膜系は非常に手間をかけないと製作できない。 r_s を小さくすることもまた、距離(S5 S6)を小さくすることと同じ問題に行き着いてしまう。というのも、このような距離の縮小も、S5への入射角の増大を伴うからである。

【0087】 r_s を大きくすると、確かにリングフィールド半径は小さくなる。ただし、第5の反射鏡での遮蔽のない状態はもはや保たれない。

【0088】図10には、本発明に係る6枚の反射鏡を用いた投影光学系200を備えたマイクロリソグラフィのための投影露光装置が示されている。照明光学系202(照明装置)は、例えば、EP99106348、8「特にEUVーリソグラフィのための照明光学系」、あるいは、US-Serial No 09/305,017「特にEUVーリソグラフィのための露光装置」といった、開示内容がこの明細書に包括的に取り込まれている先行技術文献に記載されているように形成されるものであってもよい。このような類の照明光学系は、EUVー光源204を備えている。EUVー光源の光は、集光反射鏡206によって集光される。そして、いわゆるフィールド・ハニカムである網目状素子を備えた一番目の反射鏡207と、いわゆるビュービル・ハニカムである網目状素子を備えた二番目の反射鏡208と、反射鏡210とによってレチクル212が照明される。レチクル212から反射された光は、本発明に係る投影光学系によって、感光性の層を有するホルダー214に結像される。

【0089】本発明により、このようにして、初めて、全ての反射鏡上において小さな寸法の使用領域を有する点において優れた、しかも、組立及び製造のための技術的観点から見る限りとりわけ好ましい小形の投影光学系を実現する6枚の反射鏡を備えた投影光学系が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】反射鏡の使用領域を示す図である。

【図2】物体面におけるリングフィールドを示す図である。

【図3】光学系の任意の二枚の反射鏡に関して、組立空間を説明するための図である。

【図4】本発明に係る第一の実施形態を示す図であって、6枚の非球面反射鏡を有し、第1の反射鏡が凸面状に形成されている投影光学系を示す図である。

【図5】本発明に係る第二の実施形態を示す図であって、6枚の非球面反射鏡を有し、第1の反射鏡が凹面状に形成されている投影光学系を示す図である。

【図6(a)】図4に示す投影光学系の反射鏡の使用領域を示す図であって、第1の反射鏡上の使用領域を示す図である。

【図6(b)】図4に示す投影光学系の反射鏡の使用領域を示す図であって、第2の反射鏡上の使用領域を示す図である。

【図6(c)】図4に示す投影光学系の反射鏡の使用領域を示す図であって、第3の反射鏡上の使用領域を示す図である。

【図6(d)】図4に示す投影光学系の反射鏡の使用領域を示す図であって、第4の反射鏡上の使用領域を示す図である。

【図6(e)】図4に示す投影光学系の反射鏡の使用領域を示す図であって、第5の反射鏡上の使用領域を示す図である。

【図6(f)】図4に示す投影光学系の反射鏡の使用領域を示す図であって、第6の反射鏡上の使用領域を示す図である。

【図7】本発明に係る第三の実施形態を示す図であって、6枚の非球面反射鏡を有し、第1の反射鏡が平行平板として形成されている投影光学系を示す図である。

【図8】本発明に係る第四の実施形態を示す図であって、5枚の非球面反射鏡、及び1枚の球面反射鏡を有し、第4の反射鏡が球面状に形成されている投影光学系を示す図である。

【図9】本発明に係る6枚の反射鏡を用いた投影光学系の第5の反射鏡と第6の反射鏡の領域を示す図である。

【図10】本発明に係る光学系を備えた投影露光装置の概略構成を示す図である。

【符号の説明】

2・・・包絡円

6, 8・・・点(包絡円が腎臓の形に照明されるフィールドと重なり合う点)

10・・・境界線(腎臓の形に照明されたフィールドの境界線)

11・・・オブジェクトフィールド

12・・・リングフィールドの対称軸

15・・・オブジェクトフィールドもしくはイメージフィールドの中心点

20, 22・・・反射鏡のセグメント

26, 28・・・組立空間

30, 32・・・使用領域の中心

100・・・物体面

102・・・結像面

200・・・結像される光束

202・・・反射鏡S5上の使用領域N5の上側の周縁

部

204・・・下側の周辺光線

206・・・上側の周辺光線

S1・・・第1の反射鏡

S2・・・第2の反射鏡

S3・・・第3の反射鏡

S4・・・第4の反射鏡

S5・・・第5の反射鏡

S6・・・第6の反射鏡

B1, B2, B3, B4, B5, B6・・・反射鏡に設けられた組立空間

N1, N2, N3, N4, N5, N6・・・反射鏡に設けられた使用領域

x, y, z・・・物体面、及び結像面に設けられた座標系の座標

HA・・・投影光学系の光軸

NA・・・射出瞳における開口数

10 R・・・リングフィールド半径

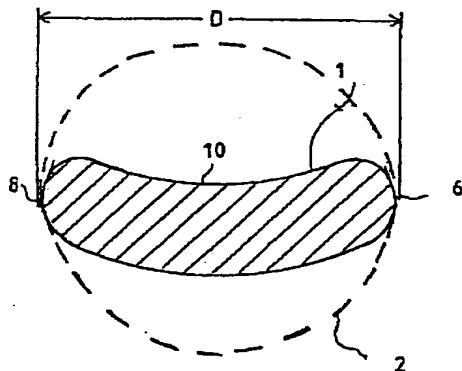
CR・・・主光線

B・・・絞り

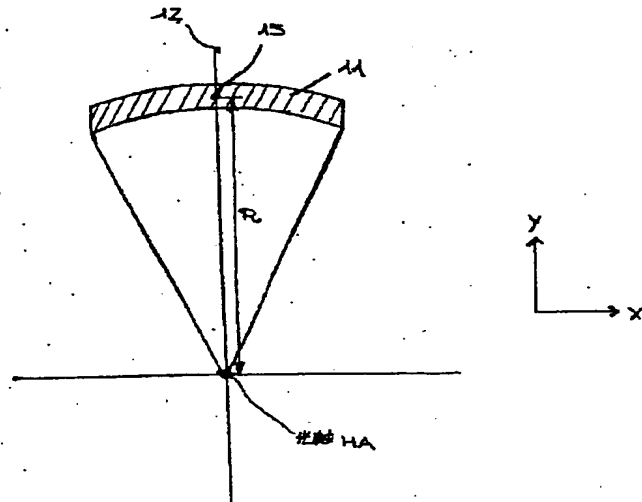
Z・・・中間像

D・・・使用領域の直径

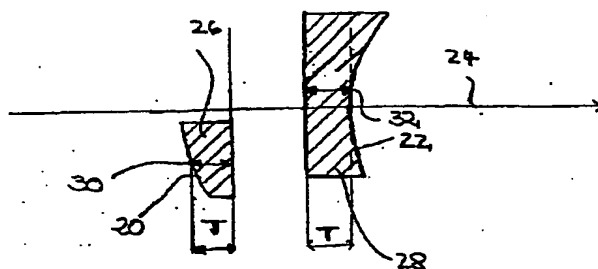
【図1】



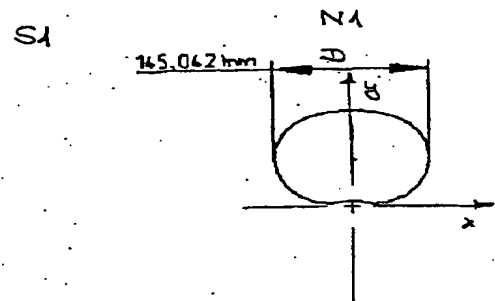
【図2】



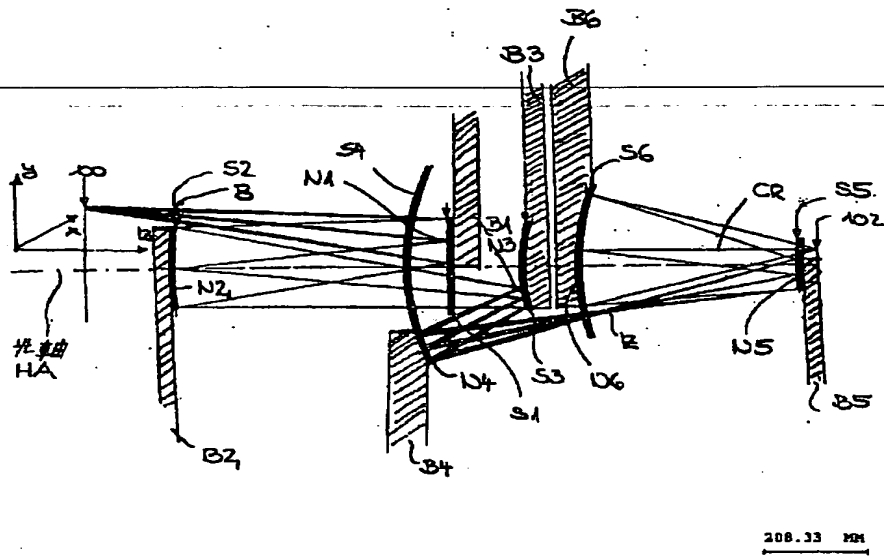
【図3】



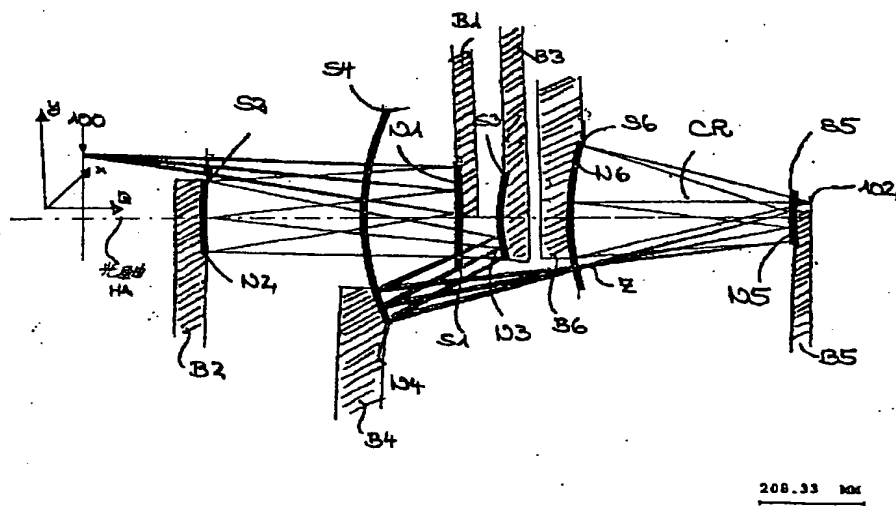
【図6(a)】



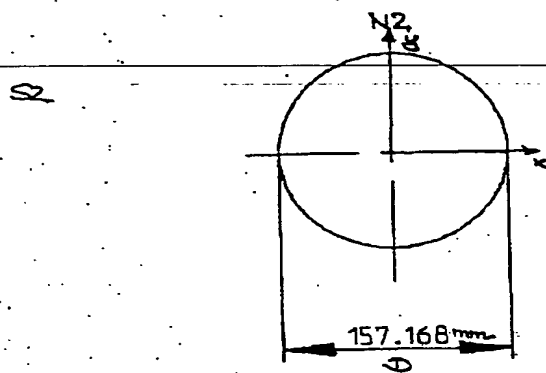
【図4】



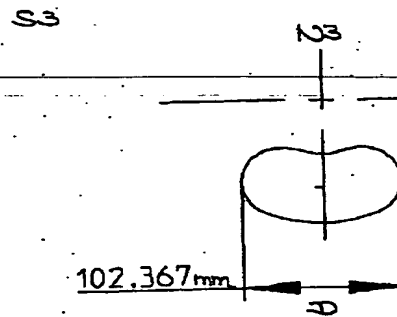
【図5】



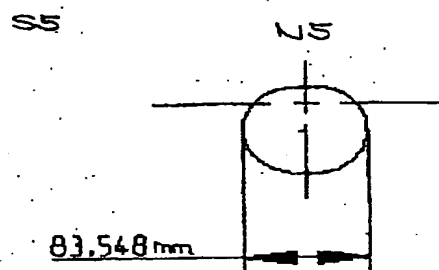
【図6 (b)】



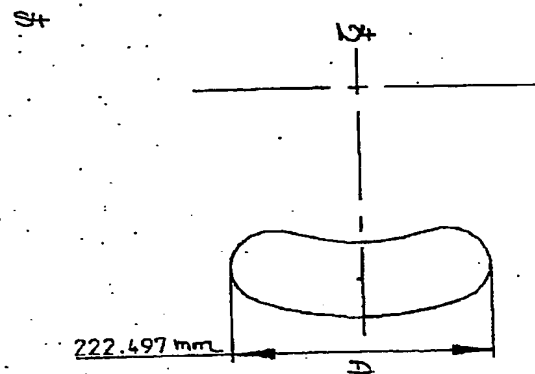
【図6 (c)】



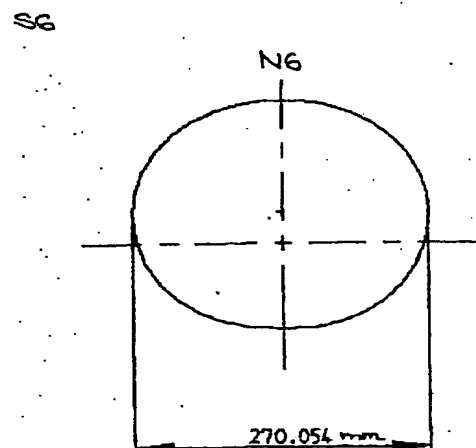
【図6 (e)】



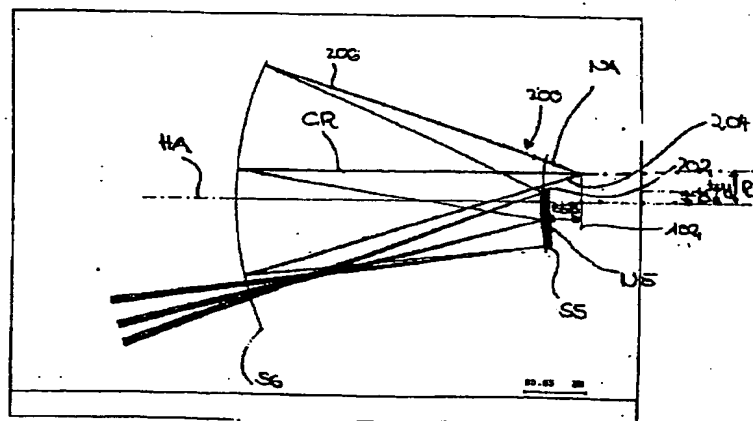
【図6 (d)】



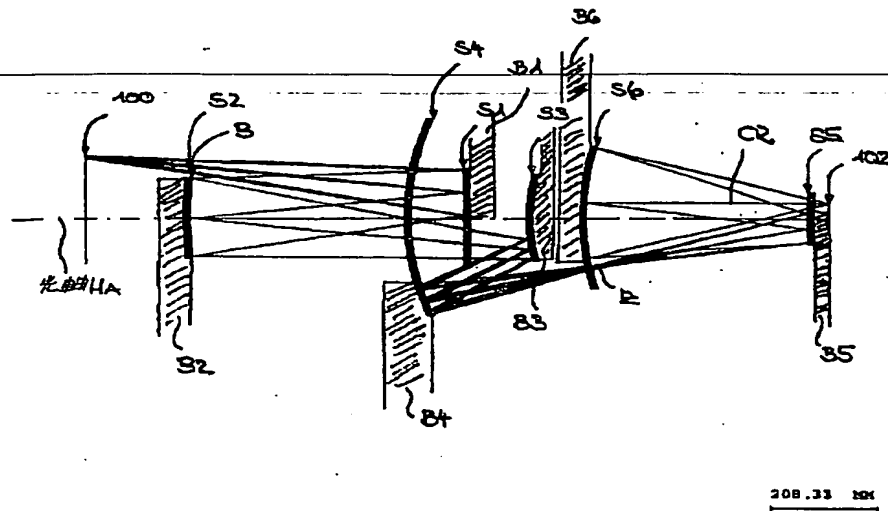
【図6 (f)】



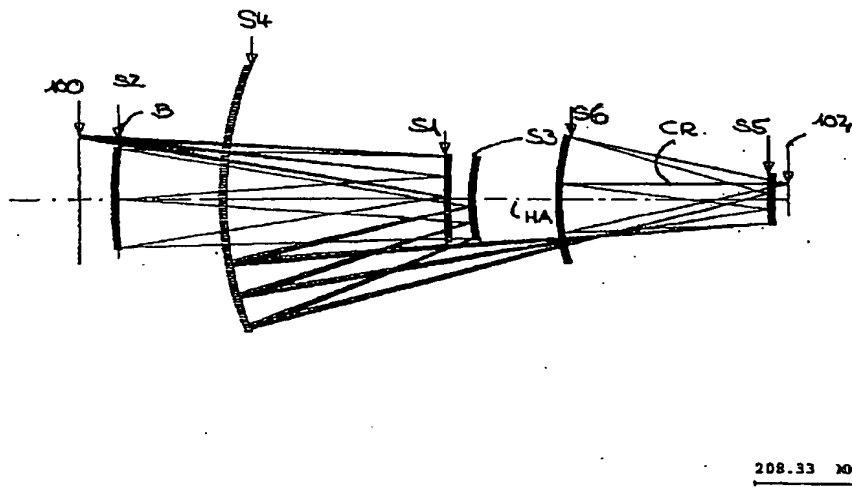
【図9】



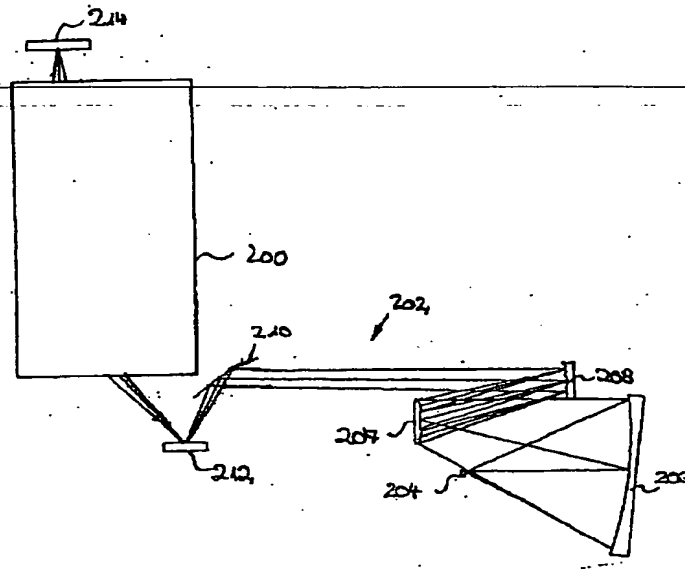
【図7】



【図8】



【図10】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テームコード (参考)
G 0 2 B 13/22		G 0 2 B 13/22	
G 0 3 F 7/20	5 0 3	G 0 3 F 7/20	5 0 3
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

(72) 発明者 ウド・ディンガー
 ドイツ・73447・オーバーコッヒエン・ハ
 インツェンキューペンペンダー・シュトラ
 セ・4

30 (72) 発明者 ミヒャエル・ミュールバイヤー
 ドイツ・73430・アーレン・シューマンシ
 ュトラセ・39
 F ターム (参考) 2H042 DA01 DB02 DD09 DE00
 2H087 KA21 NA02 NA04 RA05 RA32
 TA01 TA02 TA06
 2H097 CA15 GB00 LA10
 5F046 BA05 CA07 CB03 CB25 GB01

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.